

(12) Japanese Examined Patent
Application Publication (B2)

(19) Japan Patent Office (JP)

(11) Patent Number
Patent No. 3339792
(P3339792)

(45) Issuance date: 28 October 2002 (2002.10.28)

(24) Registration date: 16 August 2002 (2002.8.16)

(51) Int. Cl.⁷ Identification symbols
B 23 H 3/04
F 16 C 17/00

FI
B 23 H 3/04 Z
F 16 C 17/00 A

Number of claims: 4 (total of 10 pages)

(21) Application number	Patent Application H9-35557	(73) Patentee	000002233 Sankyo Seiki Mfg. Co., Ltd. 5329 Shimosuwa-machi, Suwa-gun, Nagano-ken
(22) Application date	4 February 1997 (1997.2.4)	(72) Inventor	Gomyo, Masato c/o Sankyo Seiki Mfg. Co., Ltd., 5329 Shimosuwa-machi, Suwa-gun, Nagano-ken
(65) Publication number	H10-220460	(74) Agent	100093034 Patent Attorney Goto, Takahide
(43) Publication date	21 August 1998 (1998.8.21)	Examiner	Kanzaki, Takayuki
Examination request date	26 January 2000 (2000.1.26)	(56) References	Unexamined Patent Application Publication S51-64141 (JP, A) Unexamined Patent Application Publication S60-211118 (JP, A) Unexamined Patent Application Publication H2-145800 (JP, A) Examined Patent Application Publication S56-53661 (JP, B2)

Continued on last page

(54) (Title of the invention) Method and device for electrochemical machining of dynamic grooves in dynamic bearings

(57) (Scope of patent claims)

(Claim 1) Method for electrochemical machining of dynamic grooves in dynamic bearings, being a method by which dynamic grooves, which generate dynamic pressure for rotatable support on a bearing fluid, are machined on the dynamic pressure surface of dynamic bearings in a specific groove shape by electrochemical machining, whereby a work piece on which the aforementioned dynamic grooves are to be electrochemically machined and an electrode tool having groove shaped electrode exposure areas corresponding to the dynamic grooves to be machined on said work piece are arranged in proximity to and facing each other, the work piece and electrode tool are connected respectively to the positive pole and negative pole of an electrochemical machining power supply and are electrified while causing a specific electrolyte solution to flow between the electrode tool and work piece, thereby eluting said work piece in accordance with said groove shape to electrochemically machine the dynamic grooves, wherein: depressions are formed in the areas of the aforementioned elec-

trode tool facing the aforementioned work piece that do not correspond to the aforementioned dynamic grooves, and nonconductive material is provided in said depressions; the areas not covered by this nonconductive material are formed into electrode exposure areas; the surface of the aforementioned electrode exposure areas is formed flush with the surface of the aforementioned nonconductive material; and electrochemical machining of dynamic grooves is performed using this electrode tool.

(Claim 2) Method for electrochemical machining of dynamic grooves in dynamic bearings, wherein the electrode tool described in Claim 1 is formed by forming depressions corresponding to the nonconductive material, coating the entirety of the area facing the work piece with nonconductive material, and then machining so that the electrode exposure areas become exposed and the surface of the electrode exposure areas becomes flush with the surface of the nonconductive material covering the depressions, and electrochemical machining of dynamic grooves is performed using this

electrode tool.

(Claim 3) Method for electrochemical machining of dynamic grooves in dynamic bearings, wherein electrochemical machining of dynamic grooves is performed using resin for the nonconductive material described in Claim 1 or 2.

(Claim 4) Device for electrochemical machining of dynamic grooves in dynamic bearings, whereby dynamic grooves, which generate dynamic pressure for rotatable support on a bearing fluid, are machined on the dynamic pressure surface of dynamic bearings in a specific groove shape by electrochemical machining, comprising an electrochemical machining power supply, a work piece on which the aforementioned dynamic grooves are electrochemically machined, an electrode tool which is arranged in proximity to and facing said work piece and has groove shaped electrode exposure areas corresponding to the aforementioned dynamic grooves, and an electrolyte solution feed means which causes a specific electrolyte solution to flow between the electrode tool and work piece, wherein the aforementioned work piece and electrode tool are connected respectively to the positive pole and negative pole of the aforementioned electrochemical machining power supply and are electrified while causing an electrolyte solution to flow between the electrode tool and work piece, thereby eluting the aforementioned work piece in accordance with the aforementioned groove shape to electrochemically machine the dynamic grooves,

said device for electrochemical machining of dynamic grooves in dynamic bearings comprising an electrode tool wherein depression are formed in the areas facing the aforementioned work piece which do not correspond to the aforementioned dynamic grooves, and nonconductive material is provided in said depressions, with the areas not covered by this nonconductive material being fashioned into electrode exposure areas, and wherein the surface of the aforementioned electrode exposure areas is made flush with the surface of the aforementioned nonconductive material.

(Detailed description of the invention)

(0001)

(Technical field of the invention) The present invention relates to an electrochemical machining method and electrochemical machining device that machines dynamic grooves formed on the dynamic pressure surface of dynamic bearings into a specific groove shape by means of electrochemical machining.

(0002)

(Prior art) In recent years, dynamic bearings, which have excellent high speed bearing characteristics, have received attention as the bearing devices used in polygon mirror scanner motors, hard disk drive (HDD) spindle motors, and the like. These dynamic bearings are constituted such that a specific bearing fluid is injected into the space between the bearing and shaft, which are arranged to be rotatable relative to each other, dynamic pressure on the bearing fluid is generated by the pumping effect of dynamic grooves provided on at least one of either the bearing or the shaft, and the aforementioned bearing and shaft are supported in a relatively rotatable fashion by the dynamic pressure.

(0003) The dynamic grooves provided in such dynamic bearings are machined on the dynamic pressure surface of the bearing or shaft in a specific dynamic groove shape, such as a herringbone shape or spiral shape, and as the machining method for this purpose, electrochemical machining, for instance, has been known in the prior art.

(0004) Electrochemical machining involves arranging a work piece, on which the dynamic grooves are to be electrochemically

machined, and an electrode tool, which has groove shaped electrode exposure areas corresponding to the dynamic grooves to be machined on said work piece, in proximity to and facing each other, connecting the work piece and electrode tool respectively to the positive pole and negative pole of an electrochemical machining power supply and electrifying them (impressing direct current voltage) while causing a specific electrolyte solution to flow between the electrode tool and work piece, thereby eluting the aforementioned work piece in accordance with the aforementioned groove shape to form the dynamic grooves.

(0005)

(Problem to be solved by the invention) Here, with regard to the aforementioned electrode tool, there was the problem that, as shown in Figure 13, electrode exposure areas 73 are generally formed by covering the areas of the electrode part 70 which do not correspond to the groove shape with a nonconductive material 71, so the surface of the electrode exposure areas 73 becomes depressed relative to the surface of the nonconductive material 71, and when electrochemical machining is performed using electrode exposure areas 73 of this form, electrolysis products 74 generated by the machining, such as hydrogen gas, and electrolyte solution whereof the temperature has risen due to Joule heat are retained in the aforementioned depressions (in the areas surrounded by the bottom wall of the electrode exposure areas 73 and the side walls of the nonconductive material 71), making the electrolysis conditions unstable; furthermore, the aforementioned electrolysis products 74 would collide with the projecting parts of the nonconductive material 71, causing said nonconductive material 71 to peel, and this peeled off nonconductive material 71a would clog the narrow machining gap between the electrode tool and work piece 72, obstructing the flow of electrolyte solution and causing the electrolyte solution flow rate to drop, making it impossible to obtain dynamic grooves with good precision.

(0006) Moreover, there was the problem that, when the flow rate falls, it causes drops in current density, which makes the surface roughness of the machined surface 72a of the work piece 72 poorer, making it impossible to obtain dynamic grooves with good precision; at the same time, such drops in current density make the electrochemical machining speed slower, reducing productivity.

(0007) Here, one could consider widening the aforementioned machining gap so as to prevent heated electrolyte solution or electrolysis products 74 generated by machining from being retained in the aforementioned depressions and to keep peeled off nonconductive material 71a from clogging the machining gap, but if the machining gap is widened, the transfer precision will decrease, making it impossible to obtain dynamic grooves with good precision.

(0008) In this connection, the objective of the present invention is to provide a method and device for electrochemical machining of dynamic grooves in dynamic bearings, capable of yielding high precision dynamic bearings while improving productivity.

(0009)

(Means of solving the problem) To achieve the aforementioned objective, the electrochemical machining method of the present invention, being a method for electrochemical machining of dynamic grooves in dynamic bearings, by which dynamic grooves, which generate dynamic pressure for rotatable support on a bearing fluid, are machined on the dynamic pressure surface of dynamic bearings in a specific groove shape by electrochemical machining, whereby a work piece on which the aforementioned dynamic grooves are to be electrochemically machined and an electrode tool having groove shaped electrode exposure areas corresponding to the dynamic grooves to be machined on said

work piece are arranged in proximity to and facing each other, the work piece and electrode tool are connected respectively to the positive pole and negative pole of an electrochemical machining power supply and are electrified while causing a specific electrolyte solution to flow between the electrode tool and work piece, thereby eluting said work piece in accordance with said groove shape to electrochemically machine the dynamic grooves, is made such that: depressions are formed in the areas of the aforementioned electrode tool facing the aforementioned work piece which do not correspond to the aforementioned dynamic grooves, and nonconductive material is provided in said depressions; the areas not covered by this nonconductive material are formed into electrode exposure areas; the surface of the aforementioned electrode exposure areas is formed flush with the surface of the aforementioned nonconductive material; and electrochemical machining of dynamic grooves is performed using this electrode tool.

(0010) Furthermore, the electrochemical machining device of the present invention is a device for electrochemical machining of dynamic grooves in dynamic bearings, whereby dynamic grooves, which generate dynamic pressure for rotatable support on a bearing fluid, are machined on the dynamic pressure surface of dynamic bearings in a specific groove shape by electrochemical machining, comprising an electrochemical machining power supply, a work piece on which the aforementioned dynamic grooves are electrochemically machined, an electrode tool which is arranged in proximity to and facing said work piece and has groove shaped electrode exposure areas corresponding to the aforementioned dynamic grooves, and an electrolyte solution feed means which causes a specific electrolyte solution to flow between the electrode tool and work piece, wherein the aforementioned work piece and electrode tool are connected respectively to the positive pole and negative pole of the aforementioned electrochemical machining power supply and are electrified while causing an electrolyte solution to flow between the electrode tool and work piece, thereby eluting the aforementioned work piece in accordance with the aforementioned groove shape to electrochemically machine the dynamic grooves, said device comprising an electrode tool wherein depression are formed in the areas facing the aforementioned work piece which do not correspond to the aforementioned dynamic grooves, and nonconductive material is provided in said depressions, with the areas not covered by this nonconductive material being fashioned into electrode exposure areas, and wherein the surface of the aforementioned electrode exposure areas is made flush with the surface of the aforementioned nonconductive material.

(0011) In the method and device for electrochemical machining of dynamic grooves in dynamic bearings having this sort of configuration, the surface of the electrode exposure areas is made flush with the surface of the nonconductive material and is electrochemically machined, so even if the machining gap is narrowed in order to improve the transfer precision, there will be no retention of heated electrolyte solution or electrolysis products generated by the machining, allowing the desired electrolysis conditions to be maintained; furthermore, there is no clogging with peeled off pieces of nonconductive material arising due to collision of the aforementioned electrolysis products with said nonconductive material, preventing drops in electrolyte solution flow rate. In particular, when the surfaces are made flush, concavities and convexities of the sort found in the prior art are eliminated, so drops in electrolyte solution flow rate are prevented to a greater extent, and such prevention of drops in flow rate prevents drops in current density, improving the surface roughness of the machined surface of the work piece; furthermore, such prevention of drops in cur-

rent density increases the electrochemical machining speed.

(0012)

(Modes of embodiment of the invention) Below, the present invention is explained in detail using the drawings. First, the structure of an axial rotation type HDD spindle motor, as shown in Figure 12, will be explained as an example of a device equipped with dynamic bearings fabricated according to the present invention. In Figure 12, half of the motor on one side is shown in cross-section, with the shaft being shown broken out mid-way. The motor of this drawing comprises a stator assembly mounted on a frame 1, and a rotor assembly mounted axially in relation to this stator assembly. A cylindrical bearing holder 2 is provided so as to stand perpendicular to the aforementioned frame 1. Furthermore, a stator core 4 with a winding 3 wound thereon is installed on the outer circumference of this cylindrical bearing holder 2. Moreover, a cylindrical radial bearing 5 is installed inside the aforementioned bearing holder 2, and a rotary shaft 6 is supported rotatably via this radial bearing 5.

(0013) Namely, a bearing area is formed between the facing portions of the aforementioned rotary shaft 6 and bearing 5, and a lubricating fluid Q, comprising a magnetic fluid of the like, is filled into this bearing area. Furthermore, a pair of radial grooves 5a for generating dynamic pressure is formed integrally in the axial direction on the inner circumferential surface of the radial bearing in said bearing area, and the rotary shaft 6 is rotatably supported by the dynamic pressure of the lubricating fluid Q generated by the pumping action of these radial grooves 5a, 5a.

(0014) Furthermore, the upper end of the aforementioned rotary shaft 6 in the drawing is secured to the center of a hub 8 so as to rotate integrally therewith. The hub 8 has a core 8a, onto the outer circumference of which is mounted magnetic disks or other media. A mount 8b is provided on the illustrated bottom edge of the core 8a, so as to project radially toward the outer circumference, and a drive magnet 10 is mounted annularly onto the mount 8b via a back yolk 9. The aforementioned drive magnet 10 is arranged so as to annularly face the outer circumferential surface of the aforementioned stator core 4.

(0015) Furthermore, a magnetic fluid seal 11 is provided on the opening at the illustrated upper end of the aforementioned bearing holder 2. In this magnetic fluid seal 11, which is arranged so as to prevent the aforementioned lubricating fluid Q from leaking out, both axial sides of a magnet 11a are held axially between a pair of pole pieces 11b, 11b, with the magnetic fluid 11c, 11c being held inside the seal formed at the positions where the inner circumferential edge of the aforementioned pole pieces 11b, 11b faces the outer circumferential surface of the rotary shaft 6 so as to isolate the magnetic fluid from the outside. The lubricating fluid W in the aforementioned bearing area is sealed inside the cylindrical space described in the internal space of the aforementioned bearing holder 2 by the effect of isolating from the outside provided by the magnetic fluid seal 11, thereby preventing the lubricating fluid Q from leaking out and preventing influx of dust and the like from the outside.

(0016) Next, the electrochemical machining device as per one mode of embodiment of the present invention, for machining of the inner face of the aforementioned radial bearing 5 and forming the radial grooves 5a for generating dynamic pressure, will be described. As shown in Figure 1, a cavity for electrochemical machining is provided in a hollow housing 21 formed from nonconductive material, and a bearing blank 22 is secured substantially at the center of said cavity in the axial direction (the vertical direction in the drawing) as a hollow cylindrical work piece made of metal material.

(0017) The bearing blank 22 that serves as the work piece in the present mode of embodiment is a bearing blank before machining of the radial bearing 5 for a small dynamic bearing device, used in polygon mirror scanner motors, hard disk drive (HDD) spindle motors or the like; stainless steel (SUS) 304 or copper is used as the material of this bearing blank.

(0018) Furthermore, a cylindrical electrode tool 23 is secured to the housing 21 so as to pass through the aforementioned bearing blank 22 in the axial direction. The two ends of the aforementioned electrode tool 23 in the axial direction (the vertical direction in the drawing) are secured respectively to the enclosing walls 21a and 21b at the axial ends of the aforementioned housing 21, and a pair of electrode exposure areas 23a, 23a formed substantially at the center of the electrode tool 23 in the axial direction is arranged so as to face the inner circumferential wall surface 22a of the aforementioned bearing blank 22. Each of the aforementioned electrode exposure areas 23a comprises multiple herringbone shaped grooves arranged in parallel in the circumferential direction, with each groove having a specific depth.

(0019) Namely, the outer surface of the aforementioned electrode tool 23, except for the above-mentioned electrode exposure areas 23a with a specific groove shape, is covered entirely with nonconductive material 23b, and the coaxiality of the aforementioned electrode tool 23 and bearing blank 22 is adjusted such that the groove-shaped bottom wall surface constituting the electrode exposure areas 23a of the electrode tool 23 maintains a uniform machining gap relative to the inner circumferential wall surface 22a of the bearing blank 22 across its entire circumference. An electrochemical machining area A is formed by arranging the electrode exposure areas 23a of the electrode tool 23 and the inner circumferential wall surface 22a of the bearing blank 22 facing each other across a specific machining gap. In the present mode of embodiment, the machining gap in this electrochemical machining area A is set at 0.1 mm.

(0020) Furthermore, a connecting piece 24a extending from the positive pole (+ pole) of an electrochemical machining pulsed power supply 24 is connected to the aforementioned bearing blank 22, and midway in the extending portion of that connecting piece, an ammeter 25 which detects the current flowing between the aforementioned electrode tool 23 and bearing blank 22 is arranged. Meanwhile, a connecting piece 24b extending from the negative pole (−) of the aforementioned electrochemical machining pulsed power supply 24 is connected to the aforementioned electrode tool 23, and midway in the extending portion of that connecting piece, a power switch 26 for turning the electrochemical machining pulsed power supply 24 on and off is arranged. The output voltage of the aforementioned electrochemical machining pulsed power supply 24 in the present mode of embodiment is set such that the density of the current flowing between the electrode tool 23 and bearing blank 22 will be 20 A/cm^2 .

(0021) The amperage of the current flowing between the electrode tool 23 and bearing blank 22 as detected by the aforementioned ammeter 25 is inputted into an electricity quantity computation means 27, which constitutes a machining control means. This electricity quantity computation means 27 computes the current density based on the amperage of the current flowing between the electrode tool 23 and bearing blank 22 as detected by the aforementioned ammeter 25 and on the facing surface area of the electrode surface of the electrode tool 23, and also has the function of calculating, based on this current density, the total quantity of electricity needed to obtain the target quantity of electrochemi-

cal machining, i.e. the total electrification time. The computation techniques employed in this electricity quantity computation means 27 will be discussed later.

(0022) A command signal to set the total quantity of electricity needed to obtain the target quantity of electrochemical machining, i.e. the total electrification time, is outputted from the aforementioned electricity quantity computation means 27, which set time command signal is received by an electrification control means 28, which likewise constitutes a machining control means. Machining control means 28 is provided with a timer 28a, and the aforementioned power switch 26 is turned on and off by instructions from this timer 28a. Specifically, the power switch 26 is turned off by the aforementioned timer 28a once the total electrification time set by the aforementioned electricity quantity computation means 27 has elapsed.

(0023) The electrolyte solution storage tank 30 stores a specific quantity of electrolyte solution 31 containing 30 weight percent NaNO_3 (sodium nitrate); as the electrolyte solution feed means, a liquid feed pipe 32 and liquid drain pipe 33 are connected between this electrolyte solution storage tank 30 and the housing 21. Of these, the liquid feed pipe 32 is connected from the electrolyte solution storage tank 30 via a pump 34 so as to open into the cavity at the illustrated top of the aforementioned housing 21, i.e. at the top of the aforementioned bearing blank 22, while the liquid drain pipe 33 extends from the cavity at the illustrated bottom of the housing 21, i.e. the bottom of the aforementioned bearing blank 22, to the electrolyte solution storage tank 30, whereby the electrolyte solution 31 fed through the aforementioned liquid feed pipe 32 into the housing 21 goes from the top part of the bearing blank 22 through the electrochemical machining area A between said bearing blank 22 and the electrode exposure areas 23a of the electrode tool 23 and out to the bottom of the bearing blank 22, from where it collected via the liquid drain pipe 33 into the electrolyte solution storage tank 30.

(0024) Furthermore, in the electrolyte solution feed means in the present mode of embodiment, pressure adjustment relief valves 35, 36 are arranged respectively at the inlet side and outlet side of the aforementioned electrochemical machining area A, as shown in Figure 2, and each of these pressure adjustment relief valves 35, 36 is equipped with a pressure gage 37, 38. The pressure adjustment relief valves 35, 36 are operated as appropriate while monitoring the pressure gages 37, 38, thereby setting the flow rate of the electrolyte solution 31 in the electrochemical machining area A to a specific value. In the present mode of embodiment, the flow rate of electrolyte solution 31 in the electrochemical machining area A is set at 10 m/sec.

(0025) Furthermore, this electrolyte solution feed means is provided with a flow switching means (not illustrated) that reverses the direction of the flow of the electrolyte solution 31. For this flow switching means, the aforementioned pump 34 can be made reversible, or a pipe switching means or the like which switches the flow direction of the liquid feed pipe 32 and liquid drain pipe 33 can be employed. Said flow switching means serves to reverse the flow of electrolyte solution passing through the electrochemical machining area A, whereby the electrolyte solution passing through the electrochemical machining area A is reversed in alternating directions at any desired time interval.

(0026) Here, the computation in the above-described electricity quantity computation means 27 is executed based on predetermined data on the relationship between current density and groove machining quantity, for instance as illustrated in Figures 3 and 4.

Namely, each of the graphs shows the relationship between the current density determined based on the amperage of the current flowing between the electrode tool 23 and bearing blank 22 as detected by the ammeter 25 under the device parameters described above (horizontal axis; A/cm^2), and the machining quantity per unit time corresponding to that current density (vertical axis; $\mu m/sec$). The machining quantity per unit time of the vertical axis is determined as a mean value for each machined material when electrochemically machining $10 \mu m$ thereof. Figure 3 provides an illustration for the case of SUS 304, and Figure 4 provides an illustration for the case of copper. Namely, as the electrochemical machining progresses, the machining gap gradually expands, and the machining rate changes accordingly, so each of the aforementioned graphs was determined by averaging the machining rate when machining a small quantity ($10 \mu m$) for the initial machining gap ($0.1 mm$).

(0027) As is clear from each of these graphs, the electrochemical machining quantity changes substantially linearly in relation to the current density in any given range, so if the machining time is fixed and the current density is varied within a range having this linear relationship, or if the current density is fixed and the machining time is varied, as in the present mode of embodiment, the machining quantity, i.e. the machining depth, will vary in proportion to the current density. That is, the target shape precision can be obtained by managing the current density based on the aforementioned data, and the final machining quantity (groove machining depth) can be controlled on the μm or sub- μm order by strictly controlling the total quantity of electricity required for groove machining, so high precision electrochemical machining can be easily implemented.

(0028) Next, the mode of the electrochemical machining method of the present invention using the above-described electrochemical machining device will be described. First, the electrode tool 23 and bearing blank 22 are secured coaxially inside the housing 21 of the above-described electrochemical machining device, forming an electrochemical machining area A having a specific machining gap ($0.1 mm$). Then the power switch 26 is turned on and a specific pulsed voltage is provided from the electrochemical machining pulsed power supply 24 to the aforementioned electrochemical machining area A. Using such pulsed voltage makes it possible to eliminate accumulation of Joule heat and hydrogen gas (electrolysis product) generated by the electrochemical machining, allowing the machining precision to be increased.

(0029) Here, the amperage of the current flowing from the aforementioned electrochemical machining pulsed power supply 24 is constantly detected by the ammeter 25, and the amperage of the current flowing between the electrode tool 23 and bearing blank 22 as detected by this ammeter 25 is inputted into the electricity quantity computation means 27, which constitutes a machining control means. This electricity quantity computation means 27 computes the current density from the amperage of the current flowing between the electrode tool 23 and bearing blank 22 as detected by the ammeter 25, and calculates the total quantity of electricity, i.e. the total electrification time, required for groove machining from this current density based on predetermined data on the relationship between current density and groove machining quantity (cf. Figures 3 and 4).

(0030) Then the total electrification time is set in the timer 28a provided in the electrification control means 28 by means of a total electrification time setting signal outputted from this electricity quantity computation means 27, and the power switch 26, after being turned on, is turned off by means of a switch signal issued

by the timer 28a when the aforementioned total electrification time has expired.

(0031) In a method and device for electrochemical machining having this sort of configuration, machining is performed without moving the electrode tool 23, which remains fixed, so decrease in groove machining precision due to electrode tool 23 feed error is prevented, and since the relationship between the electrochemical machining quantity of the dynamic groove shapes and the total quantity of electricity required for such electrochemical machining is a substantially linear proportional relationship, the quantity of groove machining of the work piece 23 can be accurately manipulated by controlling the total quantity of electricity, making it easy to electrochemically machine groove shapes of high precision.

(0032) In actuality, when stainless steel (SUS) 304 was used as the material of the aforementioned bearing blank 22, assuming a bearing length of $10 mm$ and a bearing diameter of $3.5 mm$ for said bearing blank 22, and when the machining voltage from the electrochemical machining pulsed power supply 24 was made $6 V$ and the current density was made $60 A/cm^2$, it was possible to obtain a groove depth of $10 \mu m$ in a short time of 1.4 seconds.

(0033) While the machining gap in this case, as stated above, was set as $0.1 mm$, if the machining gap is narrowed, the precision of transfer of the shapes of the electrode exposure areas 23a will increase, the current density will rise, the machining speed will become faster, and the machining efficiency will tend to improve. However, conversely, the flow rate of the electrolyte solution 31 will be slowed by the gap resistance and the temperature of the electrolyte solution will rise as a result, causing problems such as making it impossible to achieve good removal of the hydrogen bubbles generated from the electrode surface. Namely, the aforementioned machining gap should be determined taking into consideration the performance of the pump, the required roughness of the machined surface, shape transfer precision, machining speed and the like.

(0034) Furthermore, when the bearing length becomes long, differences in machining quantity, i.e. groove depth, may arise between the bearing machining portion on the upstream side and the bearing machining portion on the downstream side of the electrolyte flow. This is because the temperature of the electrolyte solution rises and the conductivity increases the further downstream it goes; it is furthermore due to the fact that the thickness of the layer in which hydrogen bubbles are mixed in increases downstream, and the volume of the bubbles increases along with liquid temperature, causing the conductivity to decrease. Therefore, in order to obtain a uniform groove depth on the upstream side and downstream side of the electrolyte solution, machining needs to be performed under conditions whereby these two changes in conductivity will cancel out.

(0035) To cancel out the aforementioned two changes in conductivity, the flow of the electrolyte solution through the electrochemical machining area A can be alternated by the flow switching means, thereby making the groove depth uniform. For example, if the machining time is 1.4 seconds, then by having the electrolyte solution flow from one side for the first 0.7 seconds and to the opposite side for the remaining 0.7 seconds, the machining conditions will become uniform with respect to the direction of flow of the electrolyte solution, allowing a good machining state to be achieved.

(0036) While the power switch 26 in the present mode of embodiment was turned on and off by a timer means, a configuration

is also possible whereby the output pulses from the electrochemical machining pulsed power supply are counted and the power switch 26 is turned on and off based on the total pulse count. Furthermore, the embodiment can be similarly applied to the electrochemical machining of metal materials other than the aforementioned stainless steel (SUS) and copper.

(0037) Next, in the electrochemical machining device in the mode of embodiment illustrated in Figure 5, a flat thrust bearing blank is used as the work piece 42. Namely, as shown in Figure 5, a thrust bearing blank 42 is secured as a flat work piece in a substantially horizontal orientation inside the cavity provided in the hollow housing 41 formed from nonconductive material; a flat electrode tool 43 is secured substantially horizontally so as to face the top side of the thrust bearing blank 42 constituting the flat work piece; and an electrochemical machining area B is formed extending substantially horizontally there between. Furthermore, electrolyte solution is fed from a liquid feed pipe 52 that opens into the right top part of the aforementioned electrochemical machining area B, passes through the electrochemical machining area B, and is discharged to the outside through a liquid discharge pipe 53.

(0038) Here, in the mode of embodiment illustrated in Figure 5, the electrolyte solution is made to flow in one diametric direction, as shown by the arrow in Figure 8 (b). This flow scheme is a particularly favorable mode of embodiment when the dynamic grooves 43a" extend all the way to the center, as shown in Figure 7 (b). Generally, a scheme is employed whereby electrolyte solution is made to flow radially, as shown in Figure 8 (a), which scheme can be applied both to herringbone type dynamic grooves 43a' as shown in Figure 7 (a), and to spiral type dynamic grooves 43a", as shown in Figure 7 (b).

(0039) Here, the facing part of the aforementioned flat electrode tool 43 is covered with a nonconductive material 43b, except for the electrode exposure areas 43a, which have a specific groove shape, as shown in Figure 6, and the parallelism between the aforementioned electrode tool 43 and thrust bearing blank 42 is adjusted so as to maintain a uniform machining gap between the groove shaped bottom wall surface of aforementioned electrode exposure areas 43a and the thrust bearing blank 42 across the entire surface. The nonconductive material 43b is assumed to be coated on by printing or the like using a specific resin material.

(0040) The electrode exposure areas 43a constituted in this manner are molded into a shape corresponding to the shape of the herringbone type dynamic grooves 43a' as shown in Figure 7 (a) or the spiral type dynamic grooves 43a" as shown in Figure 7 (b), with the electrode width W1 of said electrode exposure areas 43a being made slightly smaller than the width W2 of the dynamic grooves to be machined, as shown in Figure 6 ($W1 < W2$). This difference is provided because, although under ideal electrochemical machining, the current density immediately becomes 0 at the outside of the work piece to be machined, in actuality, it gradually decreases toward the outside and approaches 0. Therefore, the above-mentioned difference decreases as the machining pattern is narrowed.

(0041) Now, if the above-described electrochemical machining is carried out using the electrochemical machining device illustrated in Figure 6, since the surface of the electrode exposure areas 43a of the electrode tool 43 is depressed relative to the

surface of the nonconductive material 43b, even if pulsed voltage is used to reduce the tendency of the Joule heat and hydrogen gas produced by electrochemical machining to be accumulated due to retention in the exposed depressions of the electrode exposure areas 43a, this will not be sufficient, and the same problem as described for the prior art will remain.

(0042) In this connection, for the present mode of embodiment, the electrode tool 143 illustrated in Figure 9 is employed. Namely, this electrode tool 143 is configured such that the area facing the thrust bearing blank 42 consists of nonconductive material 143b which covers the electrode area 143c, and electrode exposure areas 143a which correspond to the dynamic grooves and are not covered by this nonconductive material 143b; and the surface of the aforementioned electrode exposure areas 143a is made flush with the surface of the aforementioned nonconductive material 143b.

(0043) To obtain an electrode tool 143 having such a shape, first, a round flat electrode part 143c forming the base of the electrode tool 143 is prepared, after which, as shown in Figure 10 (a), depressions 143d are formed, for instance by etching or cutting, in the areas of the surface of the electrode part 143c facing the thrust bearing blank 42 which do not correspond to the dynamic grooves, i.e. the areas which are to be covered by the nonconductive material 143b. Then, as shown in Figure 10 (b), the entirety of the surface of the electrode part 143c facing the thrust bearing blank 42 is coated to a specific thickness with nonconductive material 143b, such as epoxy resin, by printing or the like, after which the electrode areas are exposed, for instance by polishing the surface of this coating. That is, when the electrode areas are exposed following this polishing, the surface of the thus exposed electrode exposure areas 143a becomes flush with the surface of the nonconductive material 143b coated over the depressions 143d, yielding the electrode tool 143 illustrated in Figure 9. Materials that have chemical resistance against electrolyte solution other than the above-mentioned epoxy resin can also be used as the nonconductive material 143b.

(0044) When the electrode tool 143 of this shape is adapted to the electrochemical machining device illustrated in Figure 5 to perform the above-described electrochemical machining, even if the machining gap is narrowed to increase the transfer precision, since the nonconductive material 143b does not project from (is flush with) the electrode exposure areas 143a, there is no retention of heated electrolyte solution or electrolysis products generated by machining, allowing the desired electrolysis conditions to be maintained; furthermore the combination of no peeling of the nonconductive material 143b and no concavities and convexities makes it possible to prevent drops in electrolyte solution flow rate, and being able to prevent drops in flow rate in this manner makes it possible to prevent drops in current density and to improve the surface roughness of the machined surface of the thrust bearing blank 42. Being able to prevent drops in current density in this manner also makes it possible to raise the electrochemical machining speed. Namely, using this sort of electrode tool 143 to perform electrochemical machining makes it possible to obtain high

precision dynamic grooves while improving productivity.

(0045) Figure 11 is a lateral cross-sectional explanatory drawing representing just the extracted main parts of another reference example of an electrode tool used in the device illustrated in Figure 5. This electrode tool 153 differs from the aforementioned electrode tool 143 in the point that the electrode exposure areas 153a are made to project from the nonconductive material 153b.

(0046) When the electrode tool 153 with this sort of shape is used in the electrochemical machining device illustrated in Figure 5 to carry out electrochemical machining in the same manner as described above, concavities and convexities appear in the machining gap, so the effect of preventing drops in electrolyte solution flow rate is somewhat weakened, but it is possible to obtain a substantially equivalent effect to the mode of embodiment described in Figure 9 and Figure 10.

(0047) Regarding this electrode tool 153, in order to prevent leakage electrochemical machining from the side walls of the electrode exposure areas 153a projecting from the nonconductive material 153b, the side walls of the electrode exposure areas 153a are covered with nonconductive material 153b, as shown in the drawing.

(0048) The configurations of electrode tools shown in Figure 9 through 11, i.e. the configurations where the surface of electrode exposure areas is either made flush with or projects from the surface of nonconductive material, can of course likewise be applied to the electrode tool 23 for radial bearing groove machining shown in Figure 1, whereby the same action and effect can be obtained.

(0049) While specific modes of embodiment of the invention made by the inventors have been described above, the present invention is not limited to the above modes of embodiment, and various modifications are of course possible so long as they do not stray from the spirit of the invention. For example, in the modes of embodiment described above, in employing the electrode tools shown in figures 9 through 11, a pulsed power supply was used, but a direct current power supply may be used as well.

(0050) Furthermore, in the aforementioned modes of embodiment, in employing the electrode tools shown in figures 9 through 11, an electrochemical machining scheme was adopted whereby both the electrode tool and work piece are fixed; however, even with an electrochemical machining scheme in which both of them are moved, as described for instance in Unexamined Patent Application Publication H5-8111, or with an electrochemical machining scheme in which one is fixed and the other is moved, as described in Unexamined Patent Application Publication H2-145800 (both are fixed during electrochemical machining), by using the electrode tools shown in figures 9 through 11, high precision dynamic grooves can be obtained while increasing productivity.

(0051) Furthermore, with a substantially hemispherical element or the opposing element, as described for instance in Examined Patent Application Publication S56-53661, high precision dynamic grooves can also be obtained, while increasing productivity, by using an electrode tool in a configuration whereby the surface of the electrode exposure areas is flush with or projects from the surface of the nonconductive material, which can be applied in the same way to the machining of all sorts of shapes.

(0052)

(Effect of the invention) As discussed above, in the device and method for electrochemical machining of the present invention, electrochemical machining is performed with the surface of the electrode exposure areas being made flush with the surface of the nonconductive material, so even when the machining gap is narrowed in order to increase the transfer precision, retention of heated electrode or electrolysis products produced by machining can be avoided and the desired electrolysis conditions can be maintained; furthermore, clogging by peeled of pieces of nonconductive material produced by collision of the aforementioned electrolysis products with said nonconductive material is eliminated, preventing drops in electrolyte solution flow rate; in particular, when the surfaces are made flush, concavities and convexities of the sort found in the prior art can be eliminated, so drops in electrolyte solution flow rate are prevented to a greater extent, and such prevention of drops in flow rate prevents drops in current density, improving the surface roughness of the machined surfaces of the work piece; furthermore, such prevention of drops in current density makes it possible to increase the electrochemical machining speed. Such an arrangement makes it possible to obtain high precision dynamic grooves while increasing productivity.

(Brief description of the drawings)

(Figure 1) A basic diagram representing an electrochemical machining device in one mode of embodiment of the present invention.

(Figure 2) A system description drawing representing the electrolyte solution circulation system used in the device of Figure 1.

(Figure 3) A graph representing predetermined data on the relationship between current density and machining quantity for the case of SUS 304.

(Figure 4) A graph representing predetermined data on the relationship between current density and machining quantity for the case of copper.

(Figure 5) A basic diagram representing an electrochemical machining device in another mode of embodiment of the present invention.

(Figure 6) A diagrammatic side view of a problematic case, with enlarged representation of an example of the electrode tool and work piece used in the device of Figure 5.

(Figure 7) A diagrammatic plan view representing an example of the dynamic grooves of a thrust bearing fashioned with the device shown in Figure 5; (a) represents herringbone type dynamic grooves and (b) represents spiral type dynamic grooves.

(Figure 8) A diagrammatic cross-section representing an example of electrolyte solution flow schemes; (a) represents a radial flow scheme, and (b) represents a diametrical flow scheme.

(Figure 9) A lateral cross-sectional diagram representing a mode of embodiment of the electrode tool used in the device shown in Figure 5.

(Figure 10) Process diagrams representing the method of manufacturing the electrode tool shown in Figure 9.

(Figure 11) A lateral cross-sectional diagram representing only extracted main parts of another mode of embodiment of the electrode tool used in the device shown in Figure 5.

(Figure 12) A semi-cross-sectional diagram representing an example of an HDD motor comprising a bearing formed according to the present invention.

(Figure 13) A lateral cross-sectional diagram representing only extracted main parts of an electrode tool and work piece of an electrochemical machining device from the prior art.

(Description of symbols)

42 Work piece

43a', 43a'' Dynamic groove

143, 153 Electrode tool

143a, 153a Electrode exposure area

143b, 153b Nonconductive material

143d Depression corresponding to nonconductive material

(Figure 1)

[see source for figures]

(captions)

21: Housing

22: Work piece

23: Electrode tool

23a: Electrode exposure area

23b: Nonconductive material

24: Electrochemical machining pulsed power supply

25: Ammeter

26: Power switch

27: Electricity quantity computation means

28: Electrification control means

28a: Timer

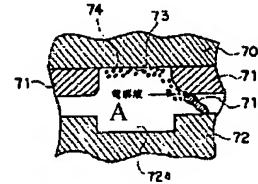
30: Electrolyte solution storage tank

31: Electrolyte solution

34: Pump

A: Electrochemical machining area

(Figure 13)



(captions)

A: Electrolyte solution

(Figure 2)

(captions)

35: Relief valve

36: Relief valve

37: Pressure gage

38: Pressure gage

34: Pump

A: Electrochemical machining area

(Figure 3)

(captions)

Vertical axis: Machining quantity per unit electrification time ($\mu\text{m/s}$)

Horizontal axis: Current density (A/cm^2)

(Figure 4)

(captions)

Vertical axis: Machining quantity per unit electrification time ($\mu\text{m/s}$)

Horizontal axis: Current density (A/cm^2)

(Figure 5)

(captions)

27: Electricity quantity means

28a: Timer

(Figure 6)

(Figure 7)

[see source for figures]

(Figure 8)

(Figure 9)

(Figure 10)

(Figure 11)

(Figure 12)

• • • •
• • •

Continuation of front page

(58) Fields searched (Int.Cl.⁷, DB name)
B23H 3/04
F16C 17/00

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3339792号
(P3339792)

(45)発行日 平成14年10月28日(2002.10.28)

(24)登録日 平成14年 8 月16日(2002.8.16)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I
B 2 3 H 3/04		B 2 3 H 3/04 Z
F 1 6 C 17/00		F 1 6 C 17/00 A

請求項の数4(全 10 頁)

(21)出願番号	特願平9-35557	(73)特許権者	000002233 株式会社三協精機製作所 長野県諏訪郡下諏訪町5329番地
(22)出願日	平成9年2月4日(1997.2.4)	(72)発明者	五明 正人 長野県諏訪郡下諏訪町5329番地 株式会 社三協精機製作所内
(65)公開番号	特開平10-220460	(74)代理人	100093034 弁理士 後藤 隆英
(43)公開日	平成10年8月21日(1998.8.21)		
審査請求日	平成12年1月26日(2000.1.26)	審査官	神崎 孝之
		(56)参考文献	特開 昭51-64141 (J P, A) 特開 昭60-211118 (J P, A) 特開 平2-145800 (J P, A) 特公 昭56-53661 (J P, B 2)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 動圧軸受における動圧溝の電解加工方法及び電解加工装置

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 軸受流体に軸支用の動圧を発生させる動圧溝を動圧軸受の動圧面に対して電解加工で所定の溝形状に加工するものであって、
上記動圧溝が電解加工される被加工物と、当該被加工物に加工される動圧溝に対応した溝形状の電極露出部を有する電極工具と、を互いに近接して対向配置すると共に、これら被加工物及び電極工具を電解加工用電源の正極及び負極にそれぞれ接続し、電極工具と被加工物との間に所定の電解液を流動させながら通電することによって上記被加工物を前記溝形状に対応して溶出させ動圧溝を電解加工するようにした動圧軸受における動圧溝の電解加工方法において、
上記電極工具の上記被加工物に対向する部分のうち、前記動圧溝に対応しない部分に凹部を形成して、該凹部に

2

非導電性材料を設け、
この非導電性材で覆われない部分を電極露出部に形成すると共に、
上記電極露出部の表面が上記非導電性材料の表面に対して面一となるように形成し、
この電極工具を用いて動圧溝の電解加工を行うようにした動圧軸受における動圧溝の電解加工方法。
【請求項2】 請求項1記載の電極工具は、非導電性材料に対応する凹部を形成し、被加工物に対向する全体部分に非導電性材料を被膜した後に、電極露出部が露出して電極露出部の表面と凹部に被膜されている非導電性材料の表面とが面一となるように加工を施すことによって形成され、この電極工具を用いて動圧溝の電解加工を行うようにした動圧軸受における動圧溝の電解加工方法。
【請求項3】 請求項1または2記載の非導電性材料を

10

樹脂として、動圧溝の電解加工を行うようにした動圧軸受における動圧溝の電解加工方法。

【請求項4】 軸受流体に軸支用の動圧を発生させる動圧溝を動圧軸受の動圧面に対して電解加工で所定の溝形状に加工するものであって、

電解加工用電源と、上記動圧溝が電解加工される被加工物と、当該被加工物に近接対向配置され上記動圧溝に対応した溝形状の電極露出部を有する電極工具と、これら電極工具及び被加工物の間に所定の電解液を流動させる電解液供給手段と、を備え、

上記被加工物及び電極工具を前記電解加工用電源の正極及び負極にそれぞれ接続し、これら電極工具と被加工物との間に電解液を流動させながら通電することによって上記被加工物を前記溝形状に対応して溶出させ動圧溝を電解加工するように構成した電解加工装置において、上記被加工物に対向する部分のうち、前記動圧溝に対応しない部分に形成された凹部内に非導電性材料が設けられ、この非導電性材料に覆われない部分が電極露出部に構成されていると共に、

上記電極露出部の表面が上記非導電性材料の表面に対して面一となるように構成された電極工具を備えた動圧軸受における動圧溝の電解加工装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、動圧軸受の動圧面に形成される動圧溝を、電解加工によって所定の溝形状に加工するようにした電解加工方法及び電解加工装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、ポリゴンミラースキャナーモーターやハードディスク駆動装置（HDD）スピンドルモーター等に用いられる軸受装置として、高速回転軸受特性に優れた動圧軸受が注目されている。この動圧軸受は、相対的に回転可能に配置された軸受と軸との間に所定の軸受流体が注入されていると共に、これら軸受及び軸の少なくとも一方側に設けられた動圧溝のポンピング作用によって軸受流体に動圧を発生させ、その動圧力によって上記軸受と軸とを相対回転可能となるように支承する構成になされている。

【0003】このような動圧軸受に設けられる動圧溝は、軸受または軸の動圧面に対してヘリングボーン状、スパイラル状等の所定の溝形状に加工されるが、その加工手段として、例えば電解加工法が従来から知られている。

【0004】この電解加工法は、動圧溝が電解加工される被加工物と、当該被加工物に加工される動圧溝に対応した溝形状の電極露出部を有する電極工具と、を互いに近接して対向配置すると共に、これら被加工物及び電極工具を電解加工用電源の正極及び負極にそれぞれ接続し、電極工具と被加工物との間に所定の電解液を流動さ

せながら通電（直流電圧の印加）することによって上記被加工物を前記溝形状に対応して溶出させ動圧溝を形成するといったものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ここで、上記電極工具に関しては、図13に示されるように、電極部70の溝形状に対応しない部分を非導電性材料71で覆うことによって電極露出部73を形成するのが一般的であるから、電極露出部73の表面は非導電性材料71の表面に対して凹むことになるが、このような形状の電極露出部73を用いて電解加工を行うと、加工により生じた例えば水素ガス等の電解生成物74やジュール熱により温度上昇をした電解液が、電極露出部73が露出する上記凹部内（電極露出部73の底壁及び非導電性材料71の側壁によって囲まれる範囲内）に滞留して電解条件が不安定になったり、また凸となっている非導電性材料71に上記電解生成物74が衝突して当該非導電性材料71が剥離しこの剥離した非導電性材料71aが電極工具と被加工物72との狭い加工間隙に詰まって電解液の流れが阻害されて電解液の流速が低下したりして、精度の良い動圧溝を得られないといった問題があった。

【0006】また、流速が落ちることによって電流密度が低下し被加工物72の加工表面72aの面粗さが悪くなって精度の良い動圧溝が得られないと共に、このように電流密度が低下することによって電解加工速度が遅くなり生産性が低下するといった問題もあった。

【0007】ここで、加工により生じた電解生成物74や温度上昇をした電解液が上記凹部内に滞留したり、剥離した非導電性材料71aが狭い加工間隙に詰まってしまわないように、上記加工間隙を広げることも考えられるが、このように加工間隙を広げると、転写精度が低下し、精度の良い動圧溝が得られない。

【0008】そこで本発明は、高精度な動圧溝を生産性を向上しつつ得ることができる動圧軸受における動圧溝の電解加工方法及び電解加工装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明にかかる電解加工方法は、軸受流体に軸支用の動圧を発生させる動圧溝を動圧軸受の動圧面に対して電解加工で所定の溝形状に加工するものであって、上記動圧溝が電解加工される被加工物と、当該被加工物に加工される動圧溝に対応した溝形状の電極露出部を有する電極工具と、を互いに近接して対向配置すると共に、これら被加工物及び電極工具を電解加工用電源の正極及び負極にそれぞれ接続し、電極工具と被加工物との間に所定の電解液を流動させながら通電することによって上記被加工物を前記溝形状に対応して溶出させ動圧溝を電解加工するようにした動圧軸受における動圧溝の電解加工方法において、上記電極工具の上記被加工物に対向する

部分のうち、前記動圧溝に対応しない部分に凹部を形成して、該凹部に非導電性材料を設け、この非導電性材で覆われない部分を電極露出部に形成すると共に、上記電極露出部の表面が上記非導電性材料の表面に対して面一となるように形成し、この電極工具を用いて動圧溝の電解加工を行うようにした構成になされている。

【0010】また、本発明にかかる電解加工装置は、軸受流体に軸支用の動圧を発生させる動圧溝を動圧軸受の動圧面に対して電解加工で所定の溝形状に加工するものであって、電解加工用電源と、上記動圧溝が電解加工される被加工物と、当該被加工物に近接対向配置され上記動圧溝に対応した溝形状の電極露出部を有する電極工具と、これら電極工具及び被加工物の間に所定の電解液を流動させる電解液供給手段と、を備え、上記被加工物及び電極工具を前記電解加工用電源の正極及び負極にそれぞれ接続し、これら電極工具と被加工物との間に電解液を流動させながら通電することによって上記被加工物を前記溝形状に対応して溶出させ動圧溝を電解加工するように構成した電解加工装置において、上記被加工物に対向する部分のうち、前記動圧溝に対応しない部分に形成された凹部内に非導電性材料が設けられ、この非導電性材料に覆われない部分が電極露出部に構成されていると共に、上記電極露出部の表面が上記非導電性材料の表面に対して面一となるように構成された電極工具を備えた構成になされている。

【0011】このような構成を有する動圧軸受における動圧溝の電解加工方法及び電解加工装置においては、電極露出部の表面が非導電性材料の表面に対して面一にされて電解加工が行われることから、転写精度を向上すべく加工間隙が狭くされても、加工により生じた電解生成物や温度上昇をした電解液の滞留がなされなくなって電解条件が所望に保たれると共に、非導電性材料に対する上記電解生成物の衝突に起因して発生する当該非導電性材料の剥離片による詰まりがなくなされて電解液の流速低下が防止され、特に面一にされた場合にあっては従来技術のような凹凸がなくされることから電解液の流速低下がさらに防止され、しかもこのように流速低下が防止されることによって電流密度の低下が防止されて被加工物の加工表面の面粗さが向上されると共に、このように電流密度の低下が防止されることによって電解加工速度が高められるようになる。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図面を用いて詳細に説明する。まず、本発明により形成される動圧軸受を備えた機器として、例えば図12に示されているような軸回転型のHDDスピンドルモータの構造を説明する。なおこの図12は、モータの片側半分を断面で示したものであって、軸の途中を破断して表している。本図にかかるモータは、フレーム1側に組み付けられたステータ組と、このステータ組に対して軸方向に組み付けられた

ロータ組とから構成されており、上記フレーム1には、円筒状の軸受ホルダー2が垂直に立設するように設けられている。またこの円筒状の軸受ホルダー2の外周部には、巻線3が巻回されたステータコア4が装着されている。さらに上記軸受ホルダー2の内部側には、円筒状のラジアル軸受5が装着されており、このラジアル軸受5を介して回転軸6が回転自在に支承されている。

【0013】すなわち、上記回転軸6とラジアル軸受5との対向部位には軸受部が形成されており、この軸受部内に磁性流体等からなる潤滑流体Qが充填されている。また当該軸受部におけるラジアル軸受5の内周面には、動圧発生用のラジアルグループ5aが軸方向に一对形成されており、このラジアルグループ5a、5aのポンピング作用によって発生される潤滑流体Qの動圧により回転軸6が回転自在に支承されるようになっている。

【0014】さらに上記回転軸6の図示上端部分は、ハブ8の中心部に一体に回転するように固着されている。ハブ8は、磁気ディスク等のメディアを外周部に装着する胴部8aを有していると共に、この胴部8aの図示下縁側に半径方向外周側に張り出すように設けられた取付部8bに、バックヨーク9を介して駆動マグネット10が環状に装着されている。上記駆動マグネット10は、前記ステータコア4の外周面に環状に対向するように配置されている。

【0015】また上記軸受ホルダー2の図示上端開口部には、磁性流体シール11が設けられている。この磁性流体シール11は、上記潤滑流体Qの外部への漏出を防止するために配置されているものであって、磁石11aの軸方向両側が一对のボールピース11b、11bにより軸方向に挟み込まれていると共に、上記ボールピース11b、11bの内周端縁部と回転軸6の外周面との対向部位に形成されたシール部内に、外部側と遮断するように磁性流体11c、11cが保持されている。そして、この磁性流体シール11の外部遮断作用によって上記軸受ホルダー2の内部空間内に画成される筒状の空間内に、上述した軸受部内の潤滑流体Qが封止され、これにより潤滑流体Qの外部漏出が防止されると共に、外部側からの塵埃等の流入が防止されるようになっている。

【0016】次に、前述したラジアル軸受5に内面加工を行い、動圧発生用のラジアルグループ5aを形成するための本発明の一実施形態にかかる電解加工装置を説明する。図1に示されているように、非導電性材料で形成された中空状のハウジング21には電解加工用のキャビティが設けられており、そのキャビティ内の軸方向（図示上下方向）略中央部分には、金属材料からなる中空円筒状被加工物としての軸受素材22が固定されている。

【0017】本実施形態における被加工物としての軸受素材22は、上述したようにポリゴンミラースキャナーモーターやハードディスク駆動用（HDD）スピンドル

モーター等に用いられる小型動圧軸受装置のラジアル軸受5を加工する前の軸受素材であって、この軸受素材の材質としては、ステンレス鋼（SUS）304または銅が用いられている。

【0018】また上記軸受素材22を軸方向に貫通するようにして円柱状の電極工具23がハウジング21に固定されている。上記電極工具23の軸方向（図示上下方向）両端部分は、上記ハウジング21の軸方向両端における閉塞壁21a、21bにそれぞれ固定されており、当該電極工具23の軸方向略中央部分に形成された一対の電極露出部23a、23aが、上記軸受素材22の内周壁面22aに対向するように配置されている。上記各電極露出部23aは、ヘリングボーン状の溝を周方向に多数並列配置したものであって、各溝が所定の深さを備えるように構成されている。

【0019】すなわち、上記電極工具23の外表面は、上述した所定の溝形状の電極露出部23aを除いて非導電性材料23bで電極部全体が覆われており、当該電極工具23の電極露出部23aを構成する溝形状の底壁面が、軸受素材22の内周壁面22aに対して全周にわたって均一な加工隙間を備えるように上記電極工具23と軸受素材22との同軸度が調整されている。そして、このように電極工具23の電極露出部23aと軸受素材22の内周壁面22aとが所定の加工隙間を介して対向されることによって電解加工部Aが形成されている。この電解加工部Aにおける加工隙間は、本実施形態においては0.1mmに設定されている。

【0020】さらに上記軸受素材22には、電解加工用パルス電源24の正極（+極）から延出する接片24aが接続されており、その延出途中部位に、前記電極工具23と軸受素材22との間の通電電流値を検出する電流計25が設けられている。一方、前記電極工具23に対しては、上記電解加工用パルス電源24の負極（-）から延出する接片24bが接続されており、その延出途中部位に、電解加工用パルス電源24のオン・オフを行う通電スイッチ26が設けられている。本実施形態における上記電解加工用パルス電源24の出力電圧は、電極工具23と軸受素材22との間の通電電流密度が20A/cm²となる電圧に設定されている。

【0021】そして、上記電流計25で検出された電極工具23と軸受素材22との間の通電電流値は、加工制御手段を構成する電気量演算手段27に入力されている。この電気量演算手段27は、上記電流計25で検出された電極工具23と軸受素材22との間の通電電流値、及び電極工具23における電極面の対向面積から電流密度を算出し、さらにこの電流密度から、目標電解加工量を得るための総電気量すなわち総通電時間を演算する機能を有している。この電気量計測手段27における演算手法については後述する。

【0022】上記電気量演算手段27からは、目標電解

加工量を得るための総電気量すなわち総通電時間の設定指令信号が出力されることとなるが、この設定時間指令信号は、同じく加工制御手段を構成する通電制御手段28に受けられている。加工制御手段28には、タイマー28aが設けられており、このタイマー28aからの指令によって前述した通電スイッチ26のオン・オフ動作が行われるようになっている。具体的には、上記タイマー28aによる通電スイッチ26のオフ動作が、上記電気量演算手段27により設定された総通電時間の経過時行われる。

【0023】一方電解液貯蔵タンク30内には、NaNO₃（硝酸ナトリウム）を30重量%含有する電解液31が所定量蓄えられていると共に、この電解液貯蔵タンク30とハウジング21との間に、電解液供給手段としての液供給管32及び液排出管33が接続されている。このうち液供給管32は、電解液貯蔵タンク30からポンプ34を介して前記ハウジング21の図示上側すなわち前記軸受素材22の上部側のキャビティー内に開口するように接続されていると共に、液排出管33は、ハウジング21の図示下側すなわち前記軸受素材22の下部側のキャビティー内から電解液貯蔵タンク30に向かって延出しており、上記液供給管32からハウジング21内に供給された電解液31が、軸受素材22の上部側から当該軸受素材22と電極工具23の電極露出部23aとの間の電解加工部Aを通して、軸受素材22の下部側に抜け、そこから液排出管33を通して電解液貯蔵タンク30内に回収されるように構成されている。

【0024】また本実施形態における電解液供給手段においては、図2に示されているように、上記電解加工部Aの入口部側及び出口部側に圧力調整用のリリーフ弁35、36がそれぞれ設けられていると共に、これらの各圧力調整用リリーフ弁35、36に対して圧力計37、38が付設されている。そして、これらの圧力計37、38をモニターしつつ圧力調整用リリーフ弁35、36が適宜操作され、それにより電解加工部Aにおける電解液31の流速が所定の値に設定されている。本実施形態においては、電解加工部Aにおける電解液31の流速が10m/secとなるように設定されている。

【0025】またこのような電解液供給手段には、電解液31の流動方向を逆転させる流動切換手段（図示省略）が設けられている。この流動切換手段としては、上記ポンプ34を逆転可能としたものや、液供給管32と液排出管33との流れ方向を切り換える配管切換手段等が採用されることとなるが、当該流動切換手段によって、電解加工部Aを通る電解液が逆流され、電解加工部Aを通る電解液が任意の時間間隔で交互に逆転されるように構成されている。

【0026】このとき上述した電気量演算手段27における演算は、例えば図3及び図4に示されているような予め求めておいた電流密度と溝加工量との関係データに

基づいて実行されるようになっている。すなわち各図には、上述した装置条件下で電流計25で検出された電極工具23と軸受素材22との間の通電電流値から求められた電流密度（横軸： A/cm^2 ）と、その電流密度に対応する単位時間当たりの加工量（縦軸： $\mu m/sec$ ）との関係が表されている。縦軸の単位時間当たりの加工量は、加工材料ごとに10 μm 電解加工したときの平均値として求めたものであって、図3はSUS304の場合を示し、図4は銅の場合を示している。すなわち電解加工の進行に伴い加工隙間が次第に拡大してくると、それに従って加工速度が変化することとなるが、上述した各図では、当初の加工隙間（0.1mm）に対して微小量（10 μm ）だけ加工したときの加工速度を平均して求めたものである。

【0027】これらの各図からも明らかなように、ある範囲の電流密度に対して電解加工量は略直線的に変化しており、従ってその直線的な関係を有する範囲で、加工時間を固定して電流密度を変化させ、或は本実施形態のように電流密度を固定して加工時間を変化させれば、電流密度に比例して加工量すなわち加工深さが変化することとなる。つまり電流密度を上記データに基づいて管理すれば目的の形状精度が得られることとなり、最終の加工量（溝加工深さ）は、溝加工に要した総電気量を厳密に制御することによって μm またはサブ μm オーダーに制御可能となることから高精度電解加工が容易に実現される。

【0028】次に、上述した電解加工装置を用いた本発明にかかる電解加工方法の形態を説明する。先ず、上述した電解加工装置のハウジング21内に、電極工具23と軸受素材22とを同軸的に固定し、所定の加工隙間（0.1mm）を有する電解加工部Aを形成する。そして通電スイッチ26のオン動作を行い電解加工用パルス電源24から上記電解加工部Aに対して所定のパルス電圧を与える。このようなパルス電圧を用いれば、電解加工で生成するジュール熱や水素ガス（電解生成物）の蓄積をなくすることができ、加工精度を向上させることができる。

【0029】このとき、前記電解加工用パルス電源24からの通電電流値は、電流計25で常時検出されており、この電流計25で検出された電極工具23と軸受素材22との間の通電電流値が、加工制御手段を構成する電気量演算手段27に入力される。この電気量演算手段27では、電流計25で検出された電極工具23と軸受素材22との間の通電電流値から電流密度が算出され、さらにこの電流密度から、予め求めておいた電流密度と溝加工量との関係データ（図3及び図4参照）に基づいて溝加工に必要な総電気量すなわち総通電時間が演算される。

【0030】そして、この電気量演算手段27から出力される総通電時間の設定信号により、通電制御手段28

に設けられたタイマー28aに総通電時間が設定され、通電スイッチ26は、オン動作後、上記総通電時間経過時にタイマー28aから発せられる切替信号によってオフされる。

【0031】このような構成を有する電解加工方法及び電解加工装置においては、電極工具23を動かすことなく固定したまま加工が行われることから、電極工具23の送り込み誤差による溝加工精度の低下が防止されると共に、動圧溝形状の電解加工量と、その電解加工に要する総電気量との関係が略直線的な比例関係にあることから、被加工物23への溝加工量が総電気量の制御によって正確に操作され、高精度な溝形状の電解加工が容易に行われる。

【0032】実際に、上記軸受素材22の材質としてステンレス鋼（SUS）304を採用し、当該軸受素材22の軸受長さを10mm、軸径を3.5mmとするとともに、電解加工用パルス電源24による加工電圧を6Vとして電流密度60 A/cm^2 とした場合に、10 μm の溝深さを1.4秒という短時間で得ることができた。

【0033】なおこの場合、前述したように加工隙間を0.1mmに設定しているが、加工隙間を狭めると電極露出部23aの形状転写精度は向上し、さらに電流密度も上がって加工速度も速くなり加工効率が向上する傾向がある。しかしその反面、電解液31の流速が隙間抵抗により遅くなってしまい、その結果、電解液の温度が上昇したり、電極面から発生する水素気泡の除去を良好に行い得なくなる等の問題が発生する。すなわち上述した加工隙間は、ポンプの性能や、要求されている加工表面の粗さや、形状転写精度、さらには加工速度等を考慮して決定すればよい。

【0034】また軸受長さが長くなった場合には、電解液の流れの上流側の軸受加工部と下流側の軸受加工部との各加工量すなわち溝深さに差が発生することがある。これは、電解液の温度が下流へ行くほど上昇し電導度が増すからであり、また水素気泡が混在する層の厚さが下流側ほど大きくなり、さらに気泡の容積が液温とともに増大し、それによって電導度が減少するからである。従って電解液の上流側と下流側とで均一な溝深さを得るためには、これら二つの電導度の変化を互いに相殺させる条件で加工しなければならない。

【0035】上記二つの電導度の変化を互いに相殺させるためには、流動切換手段によって電解加工部Aを通る電解液の流れを交互にすることで溝深さを均一化することが可能である。例えば1.4秒の加工時間であれば、最初の0.7秒について電解液を一方側から流し、残りの0.7秒については反対側に流せば、電解液の流れ方向において加工条件が均一化されることとなって良好な加工状態が得られる。

【0036】なお、本実施形態においては、通電スイッチ26のオン・オフ動作をタイマー手段によって行って

いるが、電解加工用パルス電源からの出力パルスをカウントし、その総パルス数に基づいて通電スイッチ26のオン・オフ動作を行わせるように構成することもできる。また、上述したステンレス鋼（SUS）材や銅以外の金属材料に対する電解加工についても同様に適用することができる。

【0037】次に、図5に示されている実施形態の電解加工装置においては、被加工物42として平板状のスラスト軸受素材が用いられている。すなわち図5に示されているように、非導電性材料で形成された中空状のハウジング41に設けられたキャビティー内には、略水平状態にて平板状被加工物としてのスラスト軸受素材42が固定されていると共に、この平板状被加工物としてのスラスト軸受素材42の上側に対向するようにして平板状電極工具43が略水平に固定されており、両者間に電解加工部Bが略水平方向に延在するように形成されている。また上記電解加工部Bの図示右側上部に開口する液供給管52から供給された電解液が、電解加工部Bを通して液排出管53から外部に排出されるように構成されている。

【0038】ここで、図5に示した実施形態では、図8（b）中の矢印で示したように電解液を直径方向の一方に流動させているが、この流動方式は、図7（b）のように動圧溝43a''が中心部まで入り込んでいるものに対して特に好ましい実施形態であって、一般的には、図7（a）のようなヘリングボーン型の動圧溝43a'及び図7（b）のようなスパイラル型の動圧溝43a''の何れに対しても適用できる図8（a）のように電解液を放射状に流動させる方式が採用される。

【0039】ここで、上記平板状電極工具43の対向部分は、図6に示されているように所定の溝形状を有する電極露出部43aを除いて非導電性材料43bで覆われており、上記電極露出部43aの溝形状の底壁面とスラスト軸受素材42とが全面にわたって均一な加工間隔を備えるように、上記電極工具43とスラスト軸受素材42との平行度を調整してあるとする。非導電性材料43bは、所定の樹脂材を印刷等によってコーティングしてあるとする。

【0040】このように構成した電極露出部43aを、図7（a）のようなヘリングボーン型の動圧溝43a'、或は図7（b）のようなスパイラル型の動圧溝43a''の各形状に対応した形状に成形し、図6に示されているように、当該電極露出部43aの電極幅W1を、加工すべき動圧溝の幅W2よりもやや小さく形成する（ $W1 < W2$ ）。このような差を設けるのは、理想的な電解加工では加工すべき被加工面の外側で電流密度が直ちに0になるものであるが、実際には外方に向かって徐々に減少して0に近づいていくからである。従って、加工間隔を狭くすれば上述した差も小さくなる。

【0041】ところで、図6に示した電解加工装置を用

いて上述した電解加工を行うと、電極工具43の電極露出部43a表面が非導電性材料43bの表面に対して凹んでいることから、たとえパルス電圧を用いて電解加工で生成するジュール熱や水素ガスの蓄積を電極露出部43aが露出する凹部内に滞留させない傾向にするようにしても充分ではなく、従来技術で説明したと同様な問題点が残ってしまう。

【0042】そこで、本実施形態にあつては、図9に示される電極工具143が用いられている。すなわち、この電極工具143は、そのスラスト軸受素材42に対向する部分が、電極部143cを覆う非導電性材料143bと、この非導電性材料143bで覆われない動圧溝に対応する電極露出部143aと、から構成されていると共に、上記電極露出部143aの表面が上記非導電性材料143bの表面に対して面一となるように構成されている。

【0043】このような形状の電極工具143を得るにあたっては、まず、電極工具143の基部となる円形平板状の電極部143cを用意し、次いで、図10（a）に示されるように、電極部143cにおけるスラスト軸受素材42に対する対向面の動圧溝に対応しない部分、すなわち非導電性材料143bによって覆われることになる部分に、例えばエッチング工法や切削工法によって凹部143dを形成し、次いで、図10（b）に示されるように、電極部143cにおけるスラスト軸受素材42に対する対向面全体に、例えばエポキシ樹脂等の非導電性材料143bを、例えば印刷等によって所定厚被膜し、次いでこの被膜表面に、例えば研磨加工を施して電極部を露出させる。すなわち、この研磨加工に従って電極部を露出させることによって、この露出した電極露出部143aの表面と凹部143dに被膜されている非導電性材料143bの表面とが面一となり、図9に示した電極工具143が得られることになる。なお、非導電性材料143bとしては、上述したエポキシ樹脂以外に、電解液に対して耐薬品性が高い材料を用いることができる。

【0044】このような形状の電極工具143を図5に示した電解加工装置に適用して上述した電解加工を行うと、転写精度を向上すべく加工間隔を狭くしても、非導電性材料143bが電極露出部143aより突出していない（面一になっている）ことから、加工により生じた電解生成物や温度上昇をした電解液の滞留が生じることがなく電解条件を所望に保つことができると共に非導電性材料143bに剥離が生じることがなくさらに凹凸がないことも相まって電解液の流速低下を防止でき、しかもこのように流速低下を防止し得ることによって電流密度の低下を防止できスラスト軸受素材42の加工表面の面粗さを向上できると共に、このように電流密度の低下を防止し得ることによって電解加工速度を高めることができることになる。すなわち、このような電極工具14

3を用いて電解加工を行うことによって、高精度な動圧溝を生産性を向上しつつ得ることができるようになる。

【0045】図11は図5に示した装置に用いられる電極工具の他の参考例を要部のみ抽出して表した横断面説明図である。この電極工具153が上記電極工具143と違う点は、電極露出部153aを非導電性材料153bより突出させた点である。

【0046】このような形状の電極工具153を図5に示した電解加工装置に適用して上述したと同様な電解加工を行うと、加工間隙に凹凸ができることから電解液の流速低下の防止効果が多少軽減されることになるが、図9及び図10で説明した実施形態と略同等な効果を得ることができることになる。

【0047】因に、この電極工具153にあっては、非導電性材料153bより突出する電極露出部153a側壁からの漏洩電解加工を防止するために、当該電極露出部153a側壁は、図示の如く非導電性材料153bにより覆われる構成になされている。

【0048】なお、図9乃至図11に示した電極工具の構成、すなわち電極露出部の表面を非導電性材料の表面に対して面一または突出させる構成を、図1に示したラジアル軸受溝加工用の電極工具23に対しても同様に適用でき、同様な作用、効果を得ることができるというのはいうまでもない。

【0049】以上本発明者によってなされた発明の実施形態を具体的に説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変形可能であるというのはいうまでもない。例えば、上述した実施形態では、図9乃至図11に示した電極工具を用いるにあたって、パルス電源を用いるようにしているが、直流電源を用いても良い。

【0050】また、上記実施形態においては、図9乃至図11に示した電極工具を用いるにあたって、電極工具と被加工物とを共に固定する電解加工方式を採用しているが、例えば特開平5-8111号公報に記載のように両方を移動する電解加工方式や例えば特開平2-145800号公報に記載のように一方を固定して他方を移動する電解加工方式（電解加工時には両者固定）であっても、図9乃至図11に示した電極工具を用いれば、高精度な動圧溝を生産性を向上しつつ得ることができる。

【0051】また、例えば特公昭56-53661号公報に記載のような略半球状のものまたはこれに対向するものに対しても、電極露出部の表面が非導電性材料の表面に対して面一または突出する構成の電極工具を用いることによって高精度な動圧溝を生産性を向上しつつ得ることが可能であり、あらゆる種類の形状加工に対しても同様に適用することが可能である。

【0052】

【発明の効果】以上述べたように、本発明にかかる電解加工方法及び電解加工装置は、電極露出部の表面を非導

電性材料の表面に対して面一にして電解加工を行うようにし、転写精度を向上すべく加工間隙を狭くしても、加工により生じた電解生成物や温度上昇をした電解液の滞留が生じないようにして電解条件を所望に保ち得ると共に、非導電性材料に対する上記電解生成物の衝突に従って発生する当該非導電性材料の剥離片による詰まりをなくして電解液の流速低下を防止し、特に面一にした場合にあっては従来技術のような凹凸もなくし得ることによって電解液の流速低下をさらに防止し、しかもこのように流速低下を防止することによって電流密度の低下を防止して被加工物の加工表面の面粗さを向上すると共に、このように電流密度の低下を防止することによって電解加工速度を高め得るように構成したものであるから、高精度な動圧溝を生産性を向上しつつ得ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態にかかる電解加工装置を表した原理的説明図である。

【図2】図1の装置に用いられている電解液の循環系を表した系統説明図である。

【図3】予め求めておいた電流密度と加工量との関係データのSUS304の場合を表した線図である。

【図4】予め求めておいた電流密度と加工量との関係データの銅の場合を表した線図である。

【図5】本発明の他の実施形態にかかる電解加工装置を表した原理的説明図である。

【図6】図5の装置に用いられる電極工具及び被加工物の一例を拡大して表したものであり、不具合が発生する場合の側面説明図である。

【図7】図5に示した装置によって成形されるスラスト軸受の動圧溝の一例を表したものであって、(a)はリングボーン型の動圧溝を表し、(b)はスパイラル型の動圧溝を表した平面説明図である。

【図8】電解液の流動方式の一例を表したものであって、(a)は放射方向に流動させたものを表し、(b)は直径方向に流動させたものを表した断面説明図である。

【図9】図5に示した装置に用いられる電極工具の一実施形態を表した横断面説明図である。

【図10】図9に示した電極工具の製造方法を表した各工程説明図である。

【図11】図5に示した装置に用いられる電極工具の他の実施形態を要部のみ抽出して表した横断面説明図である。

【図12】本発明によって形成された軸受を備えたHDDモーターの一例を表した半断面説明図である。

【図13】従来技術における電解加工装置の電極工具及び被加工物を要部のみ抽出して表した横断面説明図である。

【符号の説明】

15

16

42 被加工物

43 a'、43 a'' 動圧溝

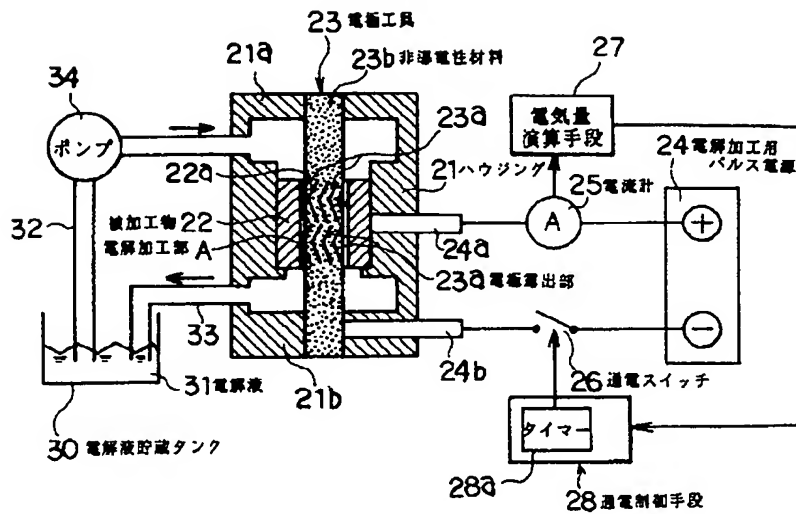
143、153 電極工具

* 143 a、153 a 電極露出部

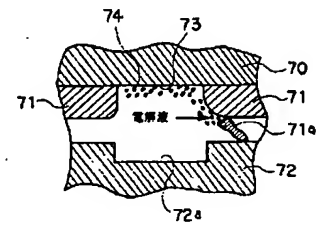
143 b、153 b 非導電性材料

* 143 d 非導電性材料に対応する凹部

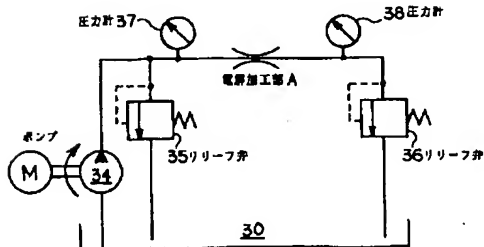
【図1】



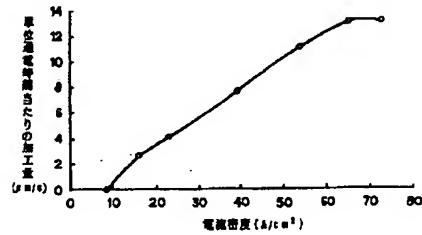
【図13】



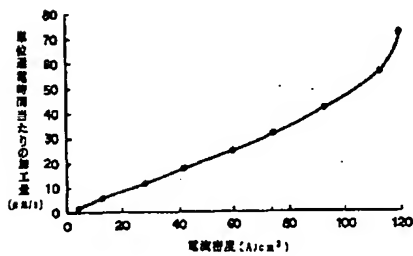
【図2】



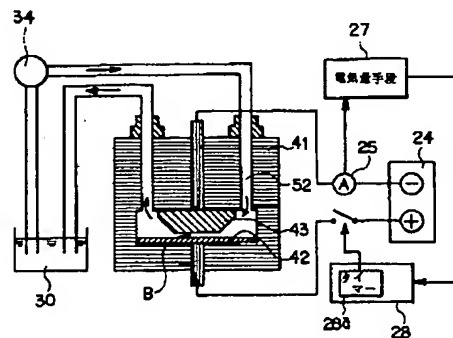
【図3】



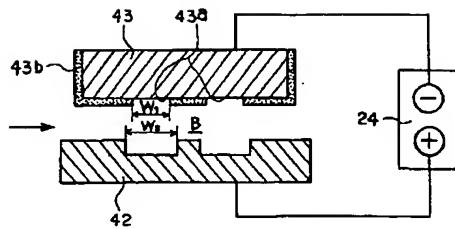
【図4】



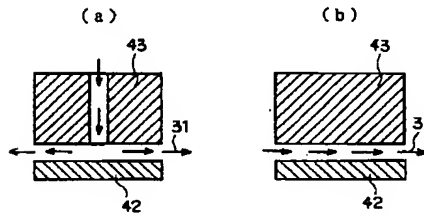
【図5】



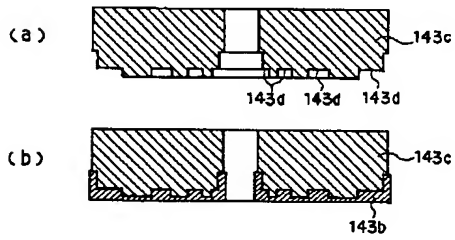
【図6】



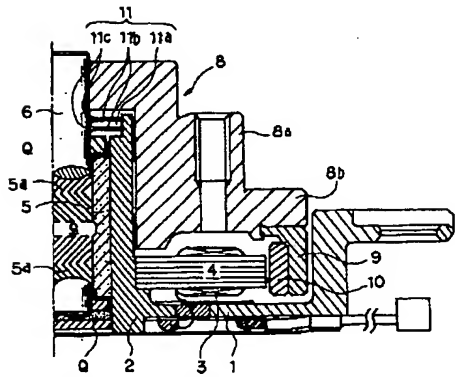
【図8】



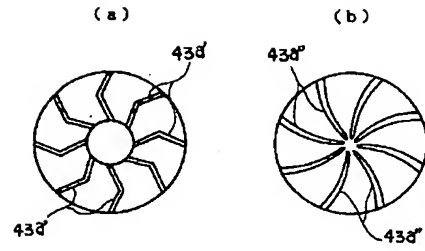
【図10】



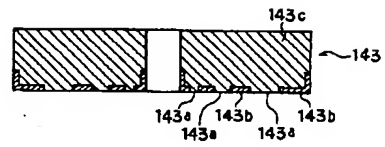
【図12】



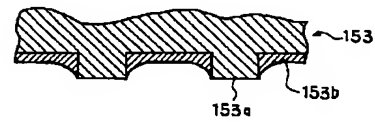
【図7】



【図9】



【図11】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, D B名)

B23H 3/04

F16C 17/00